

VARIASI DIURNAL DAN MUSIMAN KEMUNCULAN LAPISAN E-SPORADIS DI ATAS SUMEDANG TAHUN 2015 (DIURNAL AND SEASONAL VARIATION OF THE OCCURRENCE OF SPORADIC-E LAYER OVER SUMEDANG IN 2015)

Rhorom Priyatikanto¹, Farahhati Mumtahana, dan Mumen Tarigan

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjuna 133 Bandung 40173 Indonesia

¹e-mail: rhorm.priyatikanto@lapan.go.id.

Diterima: 29 April 2016; Direvisi: 6 Juni 2016; Disetujui: 21 Juni 2016

ABSTRACT

Wind shear has been believed as the main mechanism behind the occurrence of E-sporadic layer in 90-120 km altitude. The occurrence of this layer is related to gravity wave, tidal wave, and global-scale atmospheric wave (planetary wave) with different periodicity. Meteor showers that happen annually may also influence the occurrence probability of E-sporadic layer, while Solar and geomagnetic activity contribute less significantly. In this article, E-Sporadic data obtained in Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang, Jawa Barat in 2015 was studied. The main purpose of the study is to understand the characteristics and occurrence pattern of E-sporadic layer in low-latitude region. Conclusions can be deduced from the conducted analyses. Percentage of occurrence of E-sporadic layer (P) is relatively high during May-July and December-January period. The occurrence of E-sporadic layer with critical frequency higher than 2 MHz can be as high as 97%. The observed diurnal variation is the increase of P before midday followed by a significant decrease at 12:00 local time. The value of P rises again and peaks at around 16:00 local time and then declines as the photoionization rate diminishes through time. During May-July, E-sporadic layer with frequency above 6 MHz also occurred in night time. Further examinations are required to analyse the relation between E-sporadic occurrence during those time windows and the activity of high-flux meteor shower. Besides, diurnal and seasonal variations concluded in this study are expected to become reference for space weather forecast which is demanded by stakeholders.

Keyword: *Ionosphere, Sporadic-E, Occurrence statistics*

ABSTRAK

Gesekan angin (*wind shear*) telah lama dipercaya sebagai mekanisme penyebab kemunculan lapisan E-Sporadis pada ketinggian 90-120 km. Kemunculan lapisan ini berkaitan dengan gelombang gravitasi, gelombang pasang-surut, serta gelombang atmosfer skala global (*planetary wave*) dengan perulangan yang berbeda. Hujan meteor yang terjadi setiap tahun juga dapat mempengaruhi probabilitas kemunculan lapisan E-Sporadis, sementara aktivitas Matahari dan geomagnet tidak banyak memberikan pengaruh. Pada artikel kali ini, data E-Sporadis hasil pengamatan di Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang, Jawa Barat sepanjang tahun 2015 telah dipelajari. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui karakteristik dan pola kemunculan lapisan E-Sporadis di daerah lintang rendah. Beberapa kesimpulan dapat dideduksi dari analisis yang dilakukan. Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) cukup tinggi pada bulan Mei-Juli serta Desember-Januari. Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis lebih dari 2 MHz dapat mencapai 97%. Variasi diurnal yang teramati adalah peningkatan nilai P menjelang tengah hari yang diikuti penurunan sekitar pukul 12:00 waktu lokal. Nilai P kembali naik dan memuncak pada pukul 16:00 waktu lokal lalu menurun seiring berkurangnya laju ionisasi oleh radiasi Matahari. Pada bulan Mei-Juli, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 6 MHz juga muncul pada malam hari. Pemeriksaan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui kaitan antara kemunculan E-Sporadis pada rentang waktu tersebut dan aktivitas hujan meteor dengan fluks tinggi. Selain itu, variasi diurnal dan musiman yang diperoleh dalam studi ini dapat menjadi rujukan bagi proses ramalan cuaca antariksa yang diperlukan bagi sejumlah *stakeholder*.

Kata kunci: *Ionosfer, E-Sporadis, Statistik kemunculan*

1 PENDAHULUAN

Ionosfer merupakan bagian dari atmosfer Bumi bagian atas yang banyak berisikan ion sebagai produk fotoionisasi oleh sinar ultraviolet Matahari atau proses ionisasi lainnya (misalnya ablasi meteor). Ionosfer dapat dikategorikan menjadi sejumlah lapisan dengan karakteristik yang berbeda bila dilihat dari ketinggian dan kerapatannya, yakni lapisan D, E, dan F. Lapisan E berada pada ketinggian relatif rendah, yakni antara 90 hingga 130 km serta ketebalan 2 hingga 10 km. Kemunculan lapisan ini bersifat sporadis dan berkaitan erat dengan akumulasi ion metal dan molekuler pada ketinggian tersebut. Studi karakterisasi lapisan E-Sporadis telah banyak dilakukan, terutama berdasarkan pengamatan pada panjang gelombang radio menggunakan ionosonda, *incoherent scatter radar*, dan juga *backscatter radar* (Mathews, 1998).

Pembentukan lapisan E-Sporadis telah diulas oleh Whitehead (1989) dan juga Mathews (1998). Gesekan angin (*wind shear*) yang timbul karena variasi

kecepatan angin sebagai fungsi ketinggian dipercaya bertanggung jawab atas akumulasi ion yang akan membentuk lapisan E-Sporadis pada ketinggian 90-130 km. Akumulasi ion dapat terjadi akibat pergeseran pada arah vertikal (*vertical drift*) yang dipicu oleh angin netral arah utara-selatan (*meridional wind*) dan arah timur-barat (*zonal wind*) serta arah medan magnet Bumi. Dalam proses ini, gelombang pasang surut, gelombang gravitasi, dan juga gelombang skala global (*planetary wave*) juga memiliki peran yang amat penting (Lastovicka, 2006). Beberapa studi telah menunjukkan perulangan dengan periode 12 jam dan 24 jam yang menekankan pentingnya gelombang pasang surut serta perulangan dengan periode 2, 5, dan 10 hari yang berkaitan dengan kejadian *planetary wave* (Pezzopane et al., 2016 dan referensi di dalamnya).

Dinamika mesosfer dan termosfer bawah telah dikonfirmasi memiliki kaitan erat dengan kemunculan lapisan E-Sporadis. Sebaliknya, aktivitas

Matahari dan geomagnet memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap lapisan ini. Di lintang menengah, khususnya di atas Roma, Italia, Pietrella & Bianchi (2009) menyimpulkan bahwa frekuensi kemunculan lapisan E-Sporadis saat fase maksimum dan minimum aktivitas Matahari tidak jauh berbeda. Kesimpulan yang hampir sama diperoleh ketika menelaah frekuensi kemunculan lapisan E-Sporadis dengan beragam kondisi geomagnet. Meski demikian, terdapat indikasi hubungan yang cukup signifikan antara aktivitas geomagnet dan kemunculan lapisan E-Sporadis di lintang rendah (Closs, 1969). Sejalan dengan kesimpulan tersebut, Ednofri & Suhartini, (2008) menunjukkan bahwa frekuensi kritis lapisan E di Kototabang ($0,2^{\circ}$ LS) saat tengah hari memiliki korelasi positif terhadap aktivitas Matahari (terutama F10.7). Namun, korelasi tersebut tidak sebaik hubungan untuk frekuensi kritis lapisan F.

Aktivitas antariksa yang dipercaya memberikan pengaruh yang cukup signifikan adalah hujan meteor. Ablasi meteor menghasilkan deposit ion logam dan molekuler pada ketinggian sekitar 100 km sebagai *reservoir* ion dengan kala hidup lebih panjang yang akan menyuplai lapisan E-Sporadis (McNeil, 2001). Hujan meteor dengan intensitas tinggi dapat meningkatkan probabilitas kemunculan lapisan E-Sporadis (misalnya Chandra et al., 2001; Ma et al., 2008). Keterkaitan antara kejadian hujan meteor dan kemunculan lapisan E-Sporadis di wilayah Indonesia merupakan fokus dari penelitian kali ini. Penelitian semacam ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Rusnadi et al. (2002) menelaah pola frekuensi kritis dan ketinggian lapisan E-Sporadis di atas Biak saat kejadian hujan meteor tahun 2001. Jiyo et al. (2005) juga melaporkan besarnya peningkatan kerapatan elektron lapisan E-Sporadis di atas Sumedang dan Garut saat badai meteor Leonid tahun 2001. Rusnadi

(2005) melaporkan bukti observasional adanya peningkatan frekuensi kritis lapisan E-Sporadis yang dipicu oleh gelombang gravitasi yang terjadi bukan saat puncak aktivitas hujan meteor. Akan tetapi, penelitian tersebut belum menjawab pertanyaan tentang fluks kritis atau fluks minimum hujan meteor yang dapat memberikan pengaruh pada lapisan E-Sporadis. Padahal, jawaban dari pertanyaan tersebut amat penting guna memahami pola kemunculan lapisan E-Sporadis serta guna melakukan prediksi kondisi ionosfer sebagai komponen cuaca antariksa yang berdampak pada komunikasi radio (misalnya Suhartini, 2007b). Karena itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan.

Sebagai bagian dari penelitian tersebut, telah dilakukan telaah statistik kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Tanjungsari, Sumedang, Jawa Barat. Studi kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Sumedang pernah dilakukan oleh Suhartini (2007a) menggunakan data ionosonda tahun 2001-2002. Ia melaporkan adanya variasi musiman kejadian E-Sporadis yang ditandai oleh persentase kejadian maksimum pada bulan Desember-Januari dan Juli Agustus serta persentase minimum pada bulan Maret-April dan Oktober November. Pemodelan variasi diurnal dan musiman frekuensi kritis lapisan E ionosfer dilakukan oleh Jiyo (2010) menggunakan dua model empiris dari literatur. Meski cukup sesuai bila dibandingkan data pengamatan lapisan E di atas Sumedang dan Pontianak, kedua model tidak mampu menunjukkan variasi geografis yang teramati.

Artikel ini akan membahas kembali pola atau variasi diurnal dan musiman kemunculan lapisan E-Sporadis menggunakan pendekatan atau metode yang berbeda dibandingkan yang digunakan oleh Suhartini (2007a). Data yang digunakan adalah hasil pengukuran ionosonda di Sumedang tahun 2015. Kelengkapan data akan diperiksa secara komprehensif karena

isu ini amat penting ketika berbicara frekuensi kejadian suatu fenomena. Data dan metode yang digunakan dibahas pada Bagian 2, sementara Hasil dan Pembahasan yang relevan disajikan pada Bagian 3. Artikel diakhiri dengan Kesimpulan yang disajikan pada Bagian 4.

2 DATA

Data yang digunakan dalam studi ini adalah hasil *scaling* ionogram yang diperoleh dari Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang (6,913° LS; 107,838° BT) sepanjang tahun 2015 dengan resolusi temporal 1 jam. Pengukuran dilakukan menggunakan ionosonda yang bekerja pada rentang frekuensi 2-20 MHz. Proses *scaling* ionogram dilakukan secara manual oleh tim khusus di Pusat Sains Antariksa untuk mengukur sejumlah parameter kuantitatif yang relevan. Frekuensi kritis lapisan E-Sporadis (f_oEs) sebagai fungsi waktu merupakan data utama yang akan dianalisis sementara frekuensi minimum (f_{min}) digunakan sebagai acuan ada tidaknya pengukuran pada waktu tertentu.

Sepanjang tahun 2015, terdapat 8133 pengukuran f_{min} yang berkorespondensi dengan kelengkapan data sebesar 92,8%. Pada awal tahun, tingkat kelengkapan data mendekati sempurna, tetapi semakin buruk pada akhir tahun. Pada tanggal 11 hingga 17 Agustus, tidak ada data terekam karena adanya perbaikan terhadap ionosonda yang digunakan. Selama satu tahun, terdapat 2800 data f_oEs . Bila dinormalisasi terhadap jumlah data f_{min} , akan

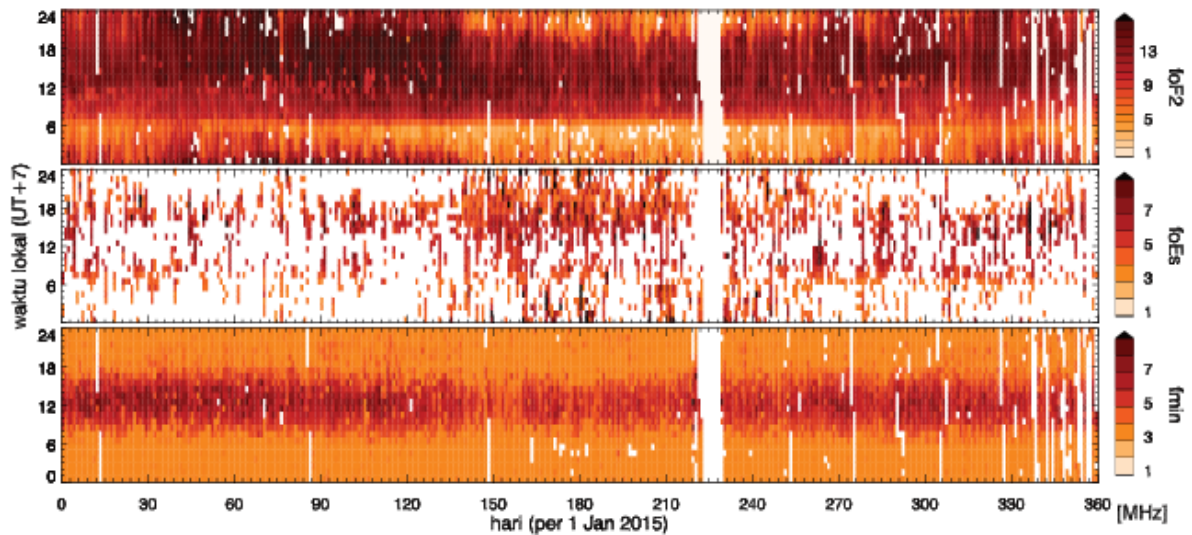
diperoleh perkiraan persentase kemunculan lapisan E-Sporadis sekitar 34%. Gambar 2-1 menunjukkan nilai f_{min} , f_oEs , serta frekuensi kritis lapisan F2 (f_oF2) sepanjang tahun 2015.

3 METODE

Data hasil *scaling* awalnya disimpan dalam bentuk tabel (*file* dengan ekstensi *.xls*) dengan kolom berisikan waktu pengamatan dan nilai frekuensi (f_{min} , f_oEs , f_oF2) yang diperoleh. Format data tersebut diubah menjadi *array* dengan ukuran 24×8760 sesuai dengan rentang waktu pengamatan, kemudian disimpan dalam bentuk citra dengan format *Flexible Image Transport System* (*.fits*). Namun, tidak ada *header* khusus yang dituliskan dalam *file* tersebut. Perubahan ini dilakukan untuk mempermudah visualisasi data dan analisis lebih lanjut.

Selanjutnya, pola kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Sumedang dianalisis berdasarkan persentase kemunculan lapisan ini (P). Mengikuti Pietrella & Bianchi (2009), parameter ini didefinisikan sebagai jumlah kemunculan lapisan E-Sporadis dalam rentang waktu tertentu (N_{foEs}) dibagi dengan jumlah pengukuran yang ada (N_{fmin}). Jumlah pengukuran ditentukan berdasarkan data f_{min} . Secara sederhana, persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dinyatakan dengan persamaan:

$$P(t, f_oEs > f_T) = 100 \times \frac{N_{foEs}}{N_{fmin}} \quad (3-1)$$



Gambar 2-1: Atas: frekuensi kritis lapisan F2 ($foF2$) sepanjang tahun 2015. Sumbu mendatar menunjukkan hari sedangkan sumbu tegak menunjukkan waktu lokal (UT+7). Kode warna ditunjukkan di bagian kanan. Tengah: frekuensi kritis lapisan E-Sporadis ($foEs$). Bawah: frekuensi minimum yang dipantulkan ionosfer ($fmin$). Warna putih pada gambar menunjukkan ketiadaan data

Nilai P dihitung untuk setiap jam (t , dari 00:00 hingga 24:00 waktu lokal) serta dihitung dengan mempertimbangkan frekuensi ambang f_T . Pietrella & Bianchi (2009) mendefinisikan N_{foEs} sebagai jumlah kejadian dalam satu bulan sementara N_{fmin} sebagai pengukuran dalam satu bulan.

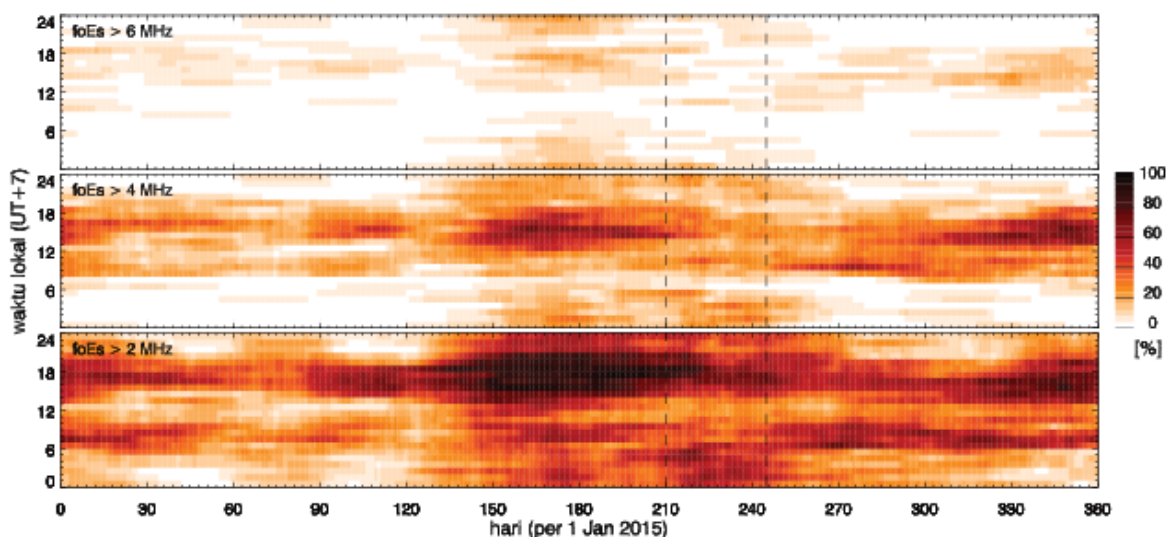
Dalam studi ini, digunakan pendekatan yang berbeda untuk mendapatkan peta kemunculan E-Sporadis dengan signifikansi statistik dan resolusi yang memadai. Baik nilai N_{Es} maupun N_{fmin} didefinisikan sebagai kerapatan data pada tanggal tertentu. Kerapatan tersebut diperkirakan dengan metode tetangga terdekat ke- k atau k -th nearest neighbor density (Silverman, 1986). Dengan pendekatan ini, N_{Es} pada satu tanggal dimaknai sebagai jumlah kemunculan E-Sporadis dengan $foEs > f_T$ dalam rentang waktu k hari sebelum dan k hari sesudahnya. Cara yang sama digunakan untuk memperoleh nilai N_{fmin} pada tanggal dan jam tertentu.

Pietrella & Bianchi (2009) menggunakan frekuensi ambang sebesar 3, 4, ..., 9 MHz karena berurusan dengan data berjumlah besar (pengukuran tahun 1976 hingga 2007). Mereka

mampu memperoleh kesimpulan dengan signifikansi statistik yang baik. Sementara itu, frekuensi ambang yang digunakan dalam studi ini adalah 2, 4, dan 6 MHz.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data $foEs$ dan juga $fmin$ yang diperoleh sepanjang tahun 2015, persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) telah dikonstruksi. Parameter $k = 15$ digunakan dalam perhitungan kerapatan menggunakan metode tetangga terdekat. Dengan demikian, nilai P yang diperoleh setara dengan rata-rata kemunculan selama satu bulan, tetapi dihitung untuk setiap tanggal. Perlu diperhatikan bahwa ketiadaan data pada tanggal 11 hingga 17 Agustus 2015 menyebabkan perhitungan nilai P sekitar tanggal tersebut menjadi tidak valid. Meski demikian, pola kemunculan E-Sporadis masih tampak jelas. Nilai P sepanjang di atas Sumedang tahun 2015 dengan frekuensi lebih dari 2, 4, dan 6 MHz disajikan pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1: Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) di atas Sumedang dengan frekuensi kritis lebih dari 2 MHz (bawah), 4 MHz (tengah), dan 6 MHz (atas). Garis putus-putus menandai daerah dengan nilai P yang tidak valid karena ketiadaan data pada tanggal 11 hingga 17 Agustus 2015

4.1 Variasi Musiman

Dengan menganggap bahwa kemunculan lapisan E-Sporadis berkorelasi lemah terhadap aktivitas geomagnet dan juga flare di Matahari, maka pembahasan akan dikonsentrasikan pada pola harian dan musiman yang teramati. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4-1, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis tinggi lebih jarang muncul dibandingkan lapisan dengan frekuensi kritis rendah. Untuk $foEs > 2$ MHz, persentase kemunculan E-Sporadis dapat mencapai 97%. Nilai maksimum dari P menurun untuk frekuensi ambang yang lebih tinggi, yakni 75% untuk frekuensi ambang 4 MHz dan 23% untuk frekuensi ambang 6 MHz. Frekuensi tertinggi yang dapat dipantulkan oleh suatu lapisan di ionosfer berbanding lurus terhadap akar kuadrat dari kerapatan elektron, sehingga persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi tertentu dapat dikaitkan dengan kerapatan elektron pada ketinggian 90-120 km yang juga berubah sepanjang waktu.

Variasi musiman dari nilai P di daerah ekuator tentu tidak dapat

dikaitkan dengan perubahan musiman dari laju ionisasi di ionosfer. Alasannya adalah amplitudo perubahan iradiasi Matahari yang tidak signifikan serta variasi yang tidak satu fase. Iradiasi Matahari di daerah ekuator bernilai maksimum sekitar *equinox* (bulan Maret dan September) sebagaimana tampak pada plot frekuensi minimum ($fmin$) dan frekuensi kritis lapisan F2 ($foF2$) yang disajikan pada Gambar 2-1.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi persentase kemunculan lapisan E-Sporadis adalah pola angin zonal dan meridional (Mathews, 1998) yang bergantung pada musim di Indonesia. Selain itu, terdapat juga hujan meteor yang cukup sering terjadi pada bulan Mei-Juli dan November-Desember (Brown et al., 2008; Jenniskens et al., 2016). Hujan meteor dengan fluks tinggi seperti Eta Aquarids, Arietids, dan Southern Delta Aquarids yang terjadi bulan Mei-Juli serta Geminids dan Quadrantids yang terjadi bulan Desember-Januari dapat meningkatkan kandungan ion metal dan molekuler di lapisan E. Perlu telah lebih dalam untuk memastikan argumen ini.

4.2 Variasi diurnal

Secara garis besar, variasi diurnal dari persentase kemunculan lapisan E-Sporadis ditandai oleh peningkatan P menjelang tengah hari dan saat senja. Sekitar pukul 12:00 waktu lokal, nilai P justru mengalami penurunan. Di luar bulan Mei-Agustus, lapisan E-Sporadis jarang muncul pada malam hari. Hal ini tampak jelas pada plot P dengan frekuensi lebih dari 4 dan 6 MHz. Peningkatan dan penurunan P pada pagi hari dan malam hari dapat dikaitkan dengan peningkatan dan penurunan laju ionisasi oleh Matahari sementara penurunan P sekitar pukul 12:00 tidak dapat dijelaskan dengan argumen yang sama.

Penurunan persentase kemunculan lapisan E-Sporadis tidak disebutkan oleh Ednofri & Suhartini (2008) yang menganalisis data ionosonda di Kototabang. Frekuensi kritis lapisan E justru memuncak saat tengah hari dan menurun secara monoton hingga senja. Baik Sumedang maupun Kototabang berada cukup jauh dari equator geomagnet dan juga sabuk *Equatorial Electrojet* (EEJ) sehingga pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Perbedaan karakter lapisan E yang teramati bisa jadi disebabkan oleh perbedaan pola angin (*wind fields*) di kedua lokasi dengan lintang geografis yang tidak sama. Argumen yang sama diajukan oleh Patra et al. (2004) untuk menjelaskan perbedaan pola harian *coherent radar echo* oleh lapisan E di atas Piura, Peru dan Gadanki, India. Gema radar tidak teramati saat tengah dari di Piura (Chau et al., 2002) sementara pengamatan di Gadanki menunjukkan adanya gema yang cukup sering terjadi saat tengah hari (Patra et al., 2004).

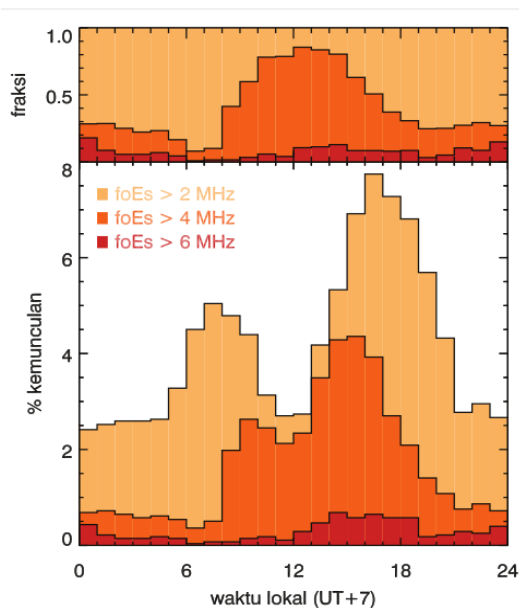
Di sisi lain, penurunan nilai P sekitar tengah hari diamati oleh Pietrella & Bianchi (2009) untuk kasus E-Sporadis di lintang menengah, hanya saja dengan waktu yang berbeda. Mereka menunjukkan bahwa persentase

kemunculan lapisan E-Sporadis mencapai maksimum sekitar pukul 12:00 waktu lokal, lalu mengalami penurunan sekitar pukul 15:00 dan kembali naik sekitar pukul 17:00. Nilai maksimum P pada saat senja lebih rendah dibandingkan puncak P pada tengah hari.

Pola harian kemunculan lapisan E-Sporadis dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4-2. Pemilahan berdasarkan frekuensi ambang juga diterapkan dalam pembuatan histogram untuk mengetahui pola kemunculan sebagai fungsi frekuensi.

Untuk E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 2 MHz, histogram tampak memiliki dua puncak yang sangat jelas. Puncak pertama terjadi pukul 08:00, sementara puncak kedua terjadi pukul 16:00 waktu lokal. Puncak pertama lebih rendah dibandingkan puncak kedua. Kedua puncak lebih tampak menyatu untuk set data dengan $f_oE_s > 4$ MHz. Pada rentang frekuensi yang lebih tinggi ($f_oE_s > 6$ MHz), puncak ganda justru tidak teramati. Dari Gambar 4-2, tampak pula bahwa lapisan E-Sporadis pada sore dan malam hari cenderung memiliki frekuensi kritis antara 2 dan 4 MHz. Sementara itu, pada siang hari lebih banyak dideteksi lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis antara 4 dan 6 MHz.

Untuk menelaah dominasi masing-masing rentang frekuensi, persentase kemunculan lapisan E-Sporadis pada setiap rentang dinormalisasi terhadap persentase kemunculan-kemunculan dengan $f_oE_s > 2$ MHz. Hasilnya adalah fraksi yang ditampilkan di panel atas dari Gambar 4-2. Dari plot tersebut, kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi sedang (4 hingga 6 MHz) dominan pukul 08:00 hingga 17:00 waktu lokal. Di luar rentang waktu tersebut, lapisan E-Sporadis cenderung memiliki frekuensi antara 2 dan 4 MHz. Fenomena ini tentu tidak bersifat konstan dan dapat



Gambar 4-2: Histogram distribusi kemunculan lapisan E-Sporadis sebagai fungsi waktu lokal. Frekuensi ambang yang digunakan adalah 2 MHz (krem), 4 MHz (oranye), dan 6 MHz (merah). Panel atas menunjukkan fraksi kemunculan untuk setiap rentang frekuensi (dinormalisasi terhadap histogram $foEs > 2$ MHz)

mengalami perubahan yang bersifat musiman.

Fraksi kemunculan E-Sporadis dengan $foEs > 6$ MHz sepanjang waktu tidak lebih dari 20%. Bila diperhatikan, puncak persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan $foEs > 6$ MHz pada siang hari tidak jauh berbeda dibandingkan puncaknya di malam hari. Hal ini menjadi salah satu *proxy* bahwa deposit ion oleh meteor di malam hari memiliki peran yang penting dalam pembentukan lapisan E-Sporadis. Terlebih karena kemunculan E-Sporadis dengan $foEs > 6$ MHz terkonsentrasi pada bulan Juni-Juli dan November-Desember ketika hujan meteor dengan intensitas tinggi menerpa Bumi.

5 KESIMPULAN

Dalam studi ini, rekaman kemunculan E-Sporadis di atas Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang sepanjang tahun 2015 telah dianalisis. Persentase kemunculan

lapisan ini (P) telah dipetakan pada dimensi waktu serta dikategorikan berdasarkan tiga rentang frekuensi, yakni $foEs > 2$ MHz, $foEs > 4$ MHz, dan $foEs > 6$ MHz. Berdasarkan pemetaan yang telah dilakukan, variasi diurnal dan musiman teramati dengan jelas. Lapisan E-Sporadis lebih sering muncul pada bulan Mei-Juli dan juga Desember-Januari. Perubahan iradiasi Matahari dan juga laju ionisasi tidak dapat menjelaskan variasi tersebut karena daerah equator tidak mengalami perubahan yang signifikan seperti daerah lintang menengah dan tinggi.

Variasi diurnal nilai P dari ditandai dengan puncak ganda pada pukul 08:00 dan 16:00 waktu lokal. Puncak ganda tersebut semakin tidak kentara bila frekuensi ambang yang digunakan lebih tinggi. Selain itu, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 6 MHz juga muncul pada malam hari bulan Mei-Juli. Kemunculan lapisan E-Sporadis dapat memberikan dampak pada komunikasi radio frekuensi tinggi. Karena itu, pola kemunculannya perlu dipahami dengan baik serta digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam ramalan cuaca antariksa yang berguna bagi sejumlah *stakeholder*.

Implikasi lain dari hasil ini menyangkut studi komprehensif dampak hujan meteor terhadap ionosfer regional Indonesia. Pemeriksaan lebih mendalam perlu dilakukan terhadap rekaman kemunculan lapisan E-Sporadis pada bulan Mei-Juli dan Desember-Januari, baik siang maupun malam hari. Pada rentang waktu tersebut, terdapat aktivitas hujan meteor dengan fluks yang cukup tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada penelaah yang telah memberikan masukan perbaikan terhadap artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Brown, P., Weryk, R. J., Wong, D. K., and Jones, J., 2008. *The Canadian Meteor Orbit Radar meteor stream catalog*, Earth Moon Planet, 102, 209.
- Chandra, H., Sharma, S., Devasia, C., Subbarao, K., Sastri, J., and Rao, J., 2001. *Sporadic-E Associated With the Leonid Meteor Shower Event of November 1998 Over Low and Equatorial Latitudes*, Annales Geophysicae, 19, 59.
- Chau, J., Woodman, R., and Flores, L., 2002. *Statistical Characteristics of Low Latitude Ionospheric Field-Aligned Irregularities Obtained with the Piura VHF Radar*, Annales Geophysicae, 20, 1203.
- Closs, R., 1969. *Low Latitude Sporadic E Associated with Geomagnetic Activity*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 48, 385.
- Ednofri, and Suhartini, S., 2008. *Variasi Lapisan E dan F Ionosfer di atas Kototabang*. Jurnal Sains Dirgantara, 6, 71.
- Jenniskens, P., Nenon, Q., Albers, J., Gural, P., Haberman, B., Holman, D., Grigsby, R. M. A. B., Samuels, D., and Johannink, C., 2016. *The established meteor showers as observed by CAMS*. Icarus, 266, 331.
- Jiyo, Admiranto, A. G., and Wikantho, G., 2005. *Peningkatan Kerapatan Elektron Lapisan E-Sporadis Di Atas Tanjungsari Dan Pameungpeuk Pada Saat Terjadi Badai Meteor Leonid 2001*, Warta LAPAN, 7, 19.
- Jiyo, 2010. *Kajian Dua Metode Empiris Lapisan E-Ionosfer*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, 1, 32.
- Lastovicka, J., 2006. *Forcing of the Ionosphere By Waves From Below*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 68, 479.
- Ma, Y., He, Y., Xu, P., and Zhao, H., 2008. *Observation and Research on Strong Meteor Showers and Their Catastrophic Space Weather Events*, Chinese Astronomy and Astrophysics, 32, 186.
- Mathews, J. D., 1998. *Sporadic E Current Views and Recent Progress*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 60, 413.
- McNeil, W. J., Dressler, R. A., and Murad, E., 2001. *Impact of a Major Meteor Storm on Earth's Ionosphere a Modeling Study*, Journal of Geophysical Research, 106, 10447.
- Patra, A., Sripathi, S., Sivakumar, V., and Rao, P., 2004. *Statistical Characteristics of VHF Radar Observations of Low Latitude E-Region Irregularities Over Gadanki*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 66, 1615.
- Pezzopane, M., Pignalberi, A., and Pietrella, M., 2016. *On the Solar Cycle Dependence of the Amplitude Modulation Characterizing the Mid-Latitude Sporadic E Layer Diurnal Periodicity*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 13, 729.
- Pietrella, M. and Bianchi, C., 2009. *Occurrence of Sporadic-E Layer Over the Ionospheric Station of Rome: Analysis of Data for Thirty-two Years*, Advances in Space Research, 44, 72.
- Rusnadi, I. E., Ristanti, N., and Djamaluddin, T., 2002. *Pola Frekuensi Kritis dan Ketinggian Lapisan E-Sporadis di atas Biak pada Saat Terjadi Hujan Meteor*, Warta LAPAN, 2, 159.
- Rusnadi, I. E., 2005. *Identifikasi Gelombang Gravitasi yang Berpengaruh pada Lapisan E Ionosfer Dari Meteor Wind Radar (MWR)*, Warta LAPAN, 7, 56.
- Silverman, B. W., 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman & Hall.
- Suhartini, S., 2007a. *Lapisan E-Sporadis di atas Tanjungsari*, Berita Dirgantara, 8, 13.
- Suhartini, S., 2007b. *Komunikasi Jarak Jauh Menggunakan 2 Meteran*, Berita Dirgantara, 8, 68.
- Whitehead, J., 1989. *Recent Work on Mid-Latitude and Equatorial Sporadic, E*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 51, 401.

